



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 198 18 699 A 1

51 Int. Cl.⁶:
H 04 B 10/20
G 02 B 26/00
G 02 F 1/01

21 Aktenzeichen: 198 18 699.1
22 Anmeldetag: 25. 4. 98
43 Offenlegungstag: 28. 10. 99

DE 198 18 699 A 1

71 Anmelder:
Bandemer, Adalbert, Dr.-Ing., 80995 München, DE;
Krause, Egbert, Dipl.-Ing., 09217 Burgstädt, DE

72 Erfinder:
Antrag auf Nichtnennung

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Anordnung zur Verringerung von PMD-bedingten Signalverzerrungen bei hochratigen optischen Übertragungsstrecken

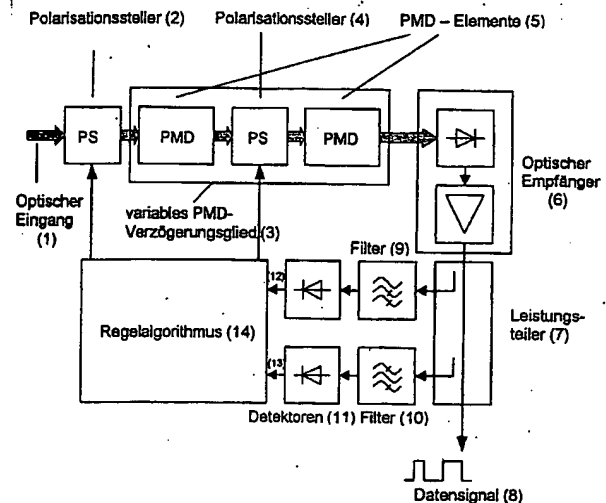
57 Die Erfindung betrifft eine Anordnung und ein Verfahren zur Minimierung der in einem Lichtwellenleiter-Übertragungssystem auftretenden Signalverzerrungen infolge der Polarisations-Moden-Dispersion (PMD), die zu einer Erhöhung der Bitfehlerrate des Systems führen. Die Faserstrecke weist nach einer derartigen PMD-Kompensation bei der Wellenlänge des Sendelasers eine zu vernachlässigende PMD auf. Dieser Zustand bleibt auch bei Veränderung der Faserstrecke erhalten.

Im Gegensatz zu bereits bekannten Verfahren kommt für die PMD-Kompensation kein mechanisches verstellbares Verzögerungsglied sondern ein optisch arbeitendes variables PMD-Verzögerungsglied zum Einsatz. Dieses besteht aus zwei dispersiven Elementen konstanter PMD, die über ein Polarisationsstellglied zu einem variablen PMD-Glied verbunden sind.

Die zu kompensierende Faserstrecke wird mit dem einstellbaren PMD-Verzögerungsglied über ein weiteres Polarisationsstellglied verbunden, das endlos arbeitet und die Principal States of Polarisation (PSP) beider PMD-Elemente zur Deckung bringt.

Das Signal zur Nachregelung des PMD-Kompensators wird direkt aus dem detektierten Signal des optischen Empfängers über elektrische Filterung gewonnen. Zwei unterschiedliche Durchlaßkurven der Filter gestatten eine Bewertung des detektierten Signals hinsichtlich der aufgetretenen Verzerrungen unabhängig von der Signalleistung.

Ein Regelalgorithmus optimiert die Polarisations-elemente des PMD-Kompensators, so daß das detektierte ...



DE 198 18 699 A 1

Beschreibung

Die nutzbare Übertragungsrate in Lichtwellenleiter-Kommunikationsnetzen ist durch PMD-bedingte Verzerrungen eingeschränkt. Aufgrund der zeitlich fluktuierenden PMD der Übertragungsstrecke kann es zu hohen Bitfehlerraten und zeitweisen Ausfällen der Übertragung kommen. Besonders für die Aufrüstung bereits installierter Faserstrecken auf höhere Übertragungsraten ist die vorhandene PMD der Strecke ein limitierender Faktor.

Durch Einfügen eines variablen, selbsttätigen PMD-Kompensators zwischen Übertragungsstrecke und optischem Empfänger gelingt es, die PMD-bedingten Verzerrungen optisch zu kompensieren und so die Bitfehlerrate zu minimieren. Die Übertragungskapazität der Strecke und die maximal überbrückbare Entfernung können damit durch Einsatz dieses PMD-Kompensators vervielfacht werden.

Stand der Technik

Der Einfluß von Polarisations-Moden-Dispersion auf langen, hochratigen Übertragungsstrecken wurde in den zurückliegenden Jahren intensiv untersucht und gemessen [1], [2].

Dabei wurden sowohl die Auswirkungen von PMD 2. Ordnung und von polarisationsabhängiger Dämpfung (PDL) analysiert [3], [4].

Besonders ältere, in den Anfangsjahren der Glasfaserübertragung installierte Fasern weisen hohe PMD auf. Für künftige zu installierende Strecken gilt eine Obergrenze von 0,5 ps/km. Faserhersteller sind bemüht, diesen Höchstwert zu unterbieten.

Andere dispersive Effekte wie die chromatische Dispersion können durch geeignete Wahl der Wellenlänge oder dispersionskompensierte Fasern in ihrer Auswirkung zurückgedrängt werden. Der einzige, die Bandbreite und die Streckenlänge limitierende Faktor ist die PMD. Wegen des zeitlich invarianten Auftretens der PMD ist eine Kompensation mit einer Faser konstanter PMD nicht möglich. Verschiedene Simulationen [5] und Laborexperimente [6] zur breitbandigen und flexiblen Gestaltung eines PMD-Kompensators wurden veröffentlicht. Es sind derzeit keine Bestrebungen bekannt, die zu einem selbsttätigen, variablen PMD-Kompensator führen könnten und damit ein kommerzielles Produkt darstellen würden.

Typische Anforderungen an einen PMD-Kompensator für optische Übertragungsstrecken sind:

- großer kompensierbarer Bereich: z. B. 0 bis 100 ps
- Ausregeln bis auf möglichst geringe Rest-PMD
- schnelles Ausregeln bei Fluktuationen auf der Faserstrecke
- sicheres Regelverhalten für jede Art der PMD (unterschiedliche PSP)
- kein Verharren der Regelung in lokalen Minima
- geringe Einfügedämpfung
- geringe Varianz der Einfügedämpfung.

Aus der Literatur sind verschiedene Lösungsansätze zur PMD-Kompensation bekannt, wobei im Hinblick auf eine Realisierung nur empfangsseitige Maßnahmen aussichtsreich sind. Dazu zählen:

- die Veränderung der PSP der Faserstrecke durch einen empfangsseitigen Polarisationssteller derart, daß die Polarisation des Sendelasers mit einem PSP zusammenfällt
- die Verwendung eines Polarisations-Diversitäts-

Empfängers mit einem vorgeschalteten Polarisationssteller, der die Signale des schnellen und langsamen PSP voneinander trennt und nach einer elektrischen Verzögerungsleitung wieder zusammenfügt

- die Verwendung einer hochdoppelbrechenden Faser mit konstanter PMD und vorgeschaltetem Polarisationssteller.

Die erwähnten Vorschläge sind entweder unvollständig, weil die Art und Weise der gezielten Regelung nicht geklärt ist, haben einen hohen Aufwand an optischen und elektrischen Komponenten oder funktionieren nicht zufriedenstellend. Marktreife Produkte sind bis jetzt weltweit nicht bekannt.

Die Schlüsselemente des PMD-Kompensators sind die notwendigen Polarisationssteller, die wesentliche Parameter der Gesamtanordnung wie Reaktionszeit, Einfügedämpfung und Langlebigkeit bestimmen.

Zur Auswahl stehen eine Vielzahl von Polarisationssteller-Varianten:

- drehbare $\lambda/2$ - und $\lambda/4$ -Wellenplatten im freien Strahlengang
- Faserquetscher, Krafteinwirkung auf hochdoppelbrechende Fasern
- Lithiumniobat oder andere elektrisch steuerbare, doppelbrechende Kristalle
- magnetooptische YIG-Kristalle
- nematische oder ferroelektrische Flüssigkristalle.

Die Elemente können durch geeignete Faserankopplungen in faseroptische Systeme integriert werden.

Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Minimierung der PMD-bedingten Signalverzerrungen durch einen PMD-Kompensator gemäß Fig. 1.

Erfindungsgemäß basiert die PMD-Kompensation der Übertragungsstrecke auf der Gegenschaltung eines variablen PMD-Verzögerungsgliedes (3), das über einen variablen Polarisationssteller (2) mit dem Ausgang der zu kompensierenden Faser verbunden ist. Aus dem detektierten Datensignal (8) des optischen Empfängers (7) wird mittels Filterung (9), (10) ein Regelsignal gewonnen, welches eine Abhängigkeit vom Verzerrungsgrad des Datensignals (8) beinhaltet. Das Regelsignal wird benutzt, um die Parameter des variablen PMD-Verzögerungsgliedes (3) und des Polarisationsstellers (2) so nachzuregeln, daß die Signalverzerrung minimal wird.

Das variable PMD-Verzögerungsglied (3) besteht aus zwei gleichartigen dispersiven Elementen (5), die z. B. über einen Polarisationssteller (4) verbunden sind. Je nach Polarisationsumwandlung ist damit die resultierende PMD dieses PMD-Verzögerungsgliedes (3) von 0 bis zur Summe der Einzeldispersionen jetzt stufenlos einstellbar.

Beispielhaft können die dispersiven Elemente (5) zwei linear doppelbrechende Elemente sein und aus hochdoppelbrechenden Fasern (= polarisationserhaltende Fasern) bestehen. Die resultierende PMD beträgt dann:

$$(PMD\ 1 + PMD\ 2) \cdot \cos(\text{Polarisationsdrehwinkel}).$$

Als Polarisationssteller eignet sich z. B. ein einfacher Rotator, wie z. B. eine $\lambda/2$ -Wellenplatte oder ein Faraday-Rotator. Alternativ kann der gleiche Effekt erreicht werden, indem die beiden dispersiven Elemente an ihrer Koppelstelle gegeneinander verdreht werden.

Fig. 2 zeigt beispielhaft einen Rotator basierend auf einer $\lambda/2$ -Wellenplatte. Das Licht aus der polarisationserhaltenden Faser PMF (20) wird mit einer Linse (21) kollimiert,

durchläuft die $\lambda/2$ -Platte (22) und wird mit einer weiteren Linse (23) in die PMF-Ausgangsfaser (24) fokussiert.

Der variable Polarisationssteller (2) hat die Aufgabe, die beiden Principal States of Polarization (PSP) der zu kompensierenden Faser auf die PSP des variablen PMD-Verzögerungsgliedes (3) abzubilden, so daß der "schnelle" PSP der Faser mit dem "langsamen" PSP des Verzögerungsgliedes zusammenfällt und der "langsame" PSP der Faser mit dem "schnellen" PSP des Verzögerungsgliedes zusammenfällt.

Der variable Polarisationssteller (2) arbeitet endlos, d. h. er hat in keiner Richtung eine mechanische oder polarisationsoptische Begrenzung. Für diese Aufgabe reicht es nicht aus, daß der Polarisationssteller (2) jede beliebige Eingangspolarisation in jede beliebige Ausgangspolarisation umwandeln kann. Der Polarisationssteller (2) muß deshalb genügend Freiheitsgrade besitzen, um in allen Fällen eine globale Minimierung der Gesamt-PMD vornehmen zu können. Stehen zu wenig Freiheitsgrade zur Verfügung, besteht die Gefahr, daß die Regelung in einem lokalen PMD-Minimum verharrt und nicht das globale Minimum findet.

Beispielhaft kann der variable Polarisationssteller (2) gemäß Fig. 3 aus 4 hintereinander angeordneten $\lambda/4$ -Wellenplatten (32-35) bestehen, die frei drehbar sind. Alle Polarisations-
transformationen sind endlos, d. h. ohne einen aufwendig zu umgehenden Anschlag möglich. Zur Auskoppelung des Lichts aus der singlemode Eingangsfaser ist eine Linse (31) oder ein Faserkollimator notwendig, ebenso erfolgt nach dem Durchlaufen der 4 $\lambda/4$ -Wellenplatten (32-35) die Einkopplung in die Ausgangsfaser (37) wieder über eine Linse (36).

Die Gewinnung eines Regelsignals, das den Verzerrungsgrad des detektierten Datensignals (8) wiedergibt, erfolgt über die Ausfilterung von hochfrequenten Spektralanteilen. Dafür wird das Datensignal (8) mittels eines Leistungsteilers (7) aufgeteilt und verschiedenen Filtern (9), (10) zugeleitet. Für z. B. die Übertragung eines 10 Gbit/s Signals beträgt die Grundfrequenz 5 GHz. Diese Frequenz ist immer vorhanden und trägt hauptsächlich zur Amplitude des Signals bei. Die für eine hohe Flankensteilheit verantwortlichen Frequenzen liegen bei Vielfachen der Grundfrequenz also bei 10, 15, 20, ... GHz bzw. bei ungeradzahligem Vielfachen der Grundfrequenz.

Beispielhaft werden zwei unterschiedliche Filter (9 + 10) eingesetzt. Filter (10) ist ein Bandpaß, der die Grundfrequenz bei 5 GHz selektiert, während Filter (9) als Hochpaß ausgeführt sein kann, um Frequenzen ab ca. 15 GHz auszufiltern. Zwei nachgeschaltete Detektoren (11) überführen die Signalamplituden in zwei analoge Signale (12 + 13). Das Verhältnis dieser beiden Analogwerte zueinander gibt dann als Regelsignal den Verzerrungsgrad des Datensignals unabhängig von der Signalleistung wieder.

Der Regelalgorithmus (14) strebt danach, das Regelsignal zu minimieren, indem er z. B. abwechselnd an allen polarisationsbeeinflussenden Elementen geringfügige Änderungen vornimmt. Dies ist sehr schnell möglich, so daß die PMD-Kompensation in Echtzeit ablaufen kann. Führt die Änderung zu einer Verkleinerung des Regelsignals bleibt sie bestehen, wenn nicht, wird sie verworfen und das nächste Polarisationselement wird einer Änderung ausgesetzt.

Literatur

- [1] Poole, C. D.; Tkach, R. W.; Chraplyvy, A. R.; Fishman, D. A.: Fading in Lightwave systems Due to Polarization-Mode Dispersion IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 3, No. 1, 1991, p. 68-70

- [2] Clesca, B.; Thiery, J.-P.; Pierre, V.; Havard, V.; Bruyère, F.:

Impact of polarisation mode dispersion on 10 Gbit/s terrestrial systems over non-dispersion-shifted fibre Electronics Letters, Vol. 31, No. 18, 1995, p. 1594-1596

- [3] Bruyère, F.:

Impact of First- and Second-Order PMD in Optical Digital Transmission Systems Optical Fiber Technology 2 (1996), Article 33, p. 269-280

- [4] Gisin, N.; Huttner, B.:

Combined effects of polarization mode dispersion dependent losses in optical fibers Optics Communications 142 (1997), p. 119-125

- [5] Ozeki, T.; Kudo, T.:

- Adaptive equalization of polarization-mode dispersion OFC/IOOC 1993, Technical Digest, p. 143-144

- [6] Hakki, B. W.:

- Polarization Mode Dispersion Compensation by Phase Diversity Detection IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 9, No. 1, 1997, p. 121-123.

Patentansprüche

1. Anordnung zur Minimierung von PMD-bedingten Signalverzerrungen, dadurch gekennzeichnet, daß ein PMD-Kompensator bestehend aus einem PMD-Emulator, einem geeigneten Signaldetektor und einem geeigneten Regelalgorithmus für eine Endlos-Kompensation der PMD-bedingten Signalverzerrung sorgt.
2. Anordnung zur Minimierung von PMD-bedingten Signalverzerrungen, dadurch gekennzeichnet, daß ein variables PMD-Verzögerungsglied bestehend aus zwei PMD-behafteten Elementen und dazwischen einem Polarisationssteller eingesetzt wird.
3. Anordnung zur Minimierung von PMD-bedingten Signalverzerrungen, dadurch gekennzeichnet, daß die PMD-behafteten Elemente des variablen PMD-Verzögerungsgliedes polarisationserhaltende Fasern sind.
4. Anordnung zur Minimierung von PMD-bedingten Signalverzerrungen, dadurch gekennzeichnet, daß der Polarisationssteller des variablen PMD-Verzögerungsgliedes aus einer $\lambda/2$ -Wellenplatte oder einem Faraday-Rotor besteht.
5. Anordnung zur Minimierung von PMD-bedingten Signalverzerrungen, dadurch gekennzeichnet, daß anstelle des Polarisationsstellers des variablen PMD-Verzögerungsgliedes eine drehbare Verbindung der beiden dispersiven Elemente an ihrer Koppelstelle ist.
6. Anordnung zur Minimierung von PMD-bedingten Signalverzerrungen, dadurch gekennzeichnet, daß ein variabler Endlos-Polarisationssteller mit ausreichenden Freiheitsgraden eingesetzt wird, der die beiden PSP der zu kompensierenden Faser auf die PSP des variablen PMD-Verzögerungsgliedes abbildet, ohne in ein lokales Minimum der Gesamt-PMD auszuregeln.
7. Anordnung zur Minimierung von PMD-bedingten Signalverzerrungen, dadurch gekennzeichnet, daß als variabler Polarisationssteller eine Anordnung aus 4 hintereinander angeordneten $\lambda/4$ -Wellenplatten eingesetzt wird.
8. Anordnung zur Minimierung von PMD-bedingten Signalverzerrungen, dadurch gekennzeichnet, daß ein Regelsignal über die Ausfilterung von hochfrequenten Spektralanteilen des Datensignals gewonnen wird, das den Verzerrungsgrad des detektierten Datensignals wiedergibt.
9. Anordnung zur Minimierung von PMD-bedingten Signalverzerrungen, dadurch gekennzeichnet, daß aus

dem Datensignal zwei unterschiedliche Filter mit nachgeschalteten Detektoren zwei analoge Signale erzeugen, deren Verhältnis den Verzerrungsgrad des Datensignals unabhängig von der Signalleistung wiedergibt.

10. Anordnung zur Minimierung von PMD-bedingten Signalverzerrungen, dadurch gekennzeichnet, daß ein Regelalgorithmus die PMD-bedingte Signalverzerrung minimiert, indem er abwechselnd an den polarisationsbeeinflussenden Elementen des variablen Polarisationsstellers und des variablen PMD-Verzögerungsgliedes nachstellt.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

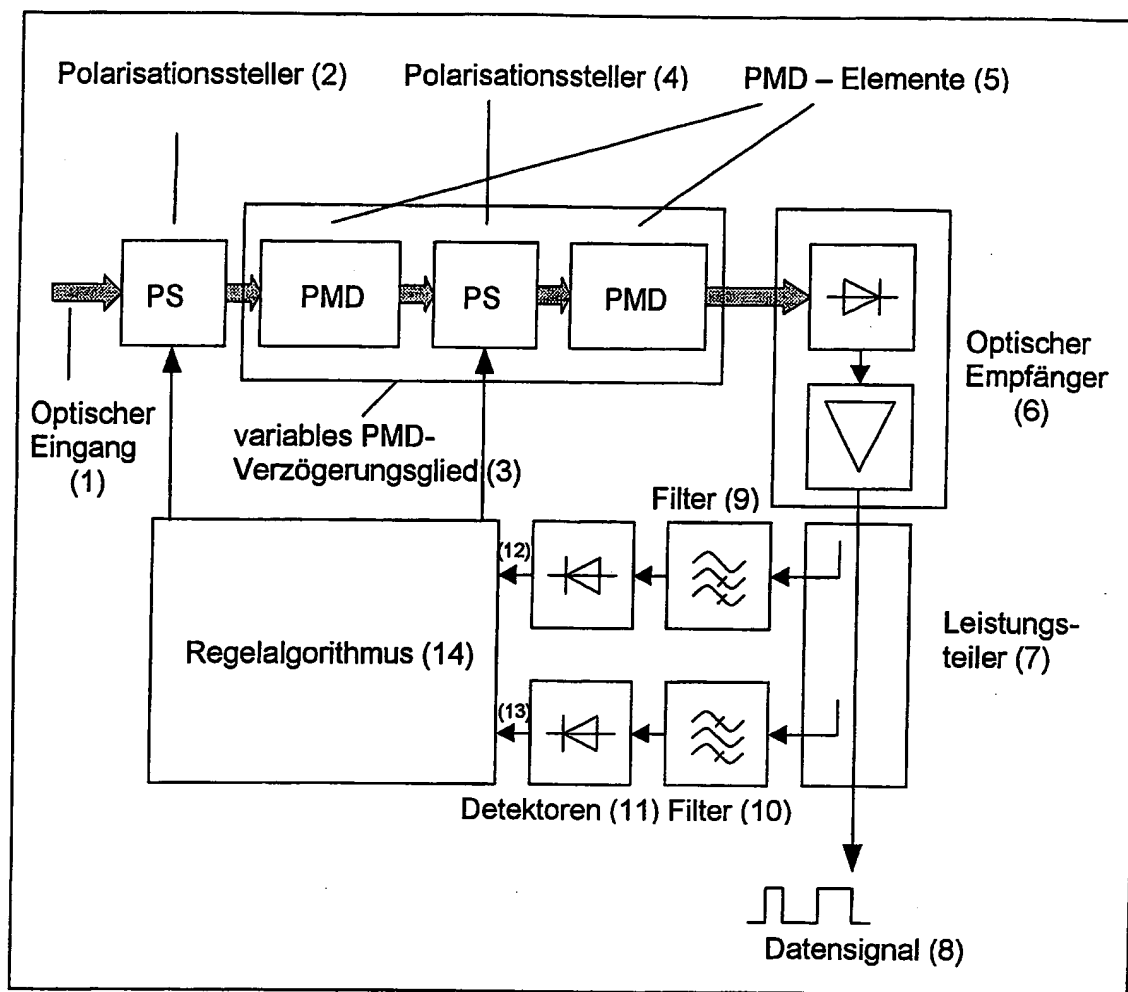
45

50

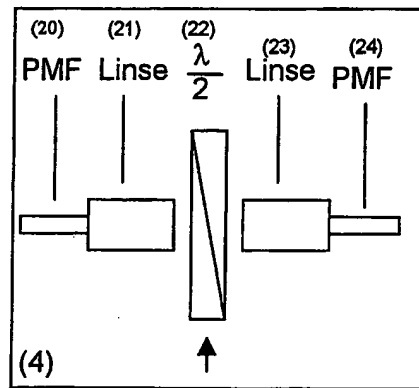
55

60

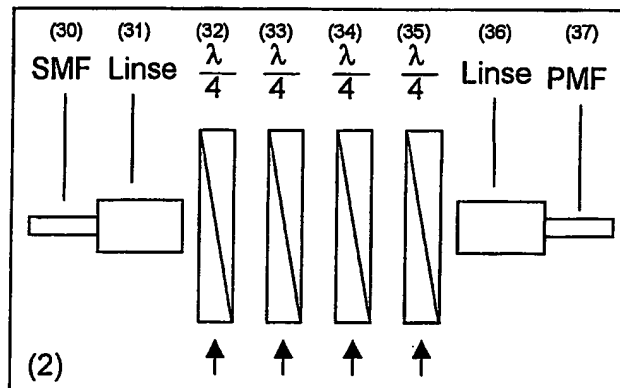
65



Figur 1



Figur 2



Figur 3